

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**



**Contribuições para o Guião de uma U.C. de  
Aplicações Laboratoriais de Instalações Elétricas**

Jacinto Manuel Teixeira Rodrigues

VERSÃO CORRIGIDA

Dissertação realizada no âmbito do  
Mestrado integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores  
Major Energia

Orientador: José Eduardo Neves dos Santos  
Coorientador: José Rui da Rocha Pinto Ferreira

Março de 2017

© Jacinto Rodrigues, 2017

# Resumo

Este documento apresenta os resultados do trabalho desenvolvido no sentido da criação de instrumentos que contribuam para o guião de uma unidade curricular de aplicações laboratoriais de instalações elétricas. Assim, este documento apresenta a estruturação teórica e prática de métodos de aplicação demonstrativa de conceitos relacionados com o ensino de unidades curriculares ligadas às instalações elétricas.

Tendo sido identificados como objeto de trabalho os regimes de ligação à terra, sistemas trifásicos, correção do fator de potência e presença de harmónicos na rede elétrica, foi feito o desenvolvimento, conceção e construção de equipamentos e montagens ilustrativas dos conceitos em causa. Desta forma, produziram-se equipamentos que contribuem para o esclarecimento e ensino dos temas ligados às instalações elétricas acima mencionados.

Este documento consiste na exposição do trabalho realizado na produção não só das ditas montagens, mas também dos guiões de acompanhamento às mesmas, incluindo as metodologias de teste a empregar na exploração dos conceitos em análise, pelo uso dos painéis desenvolvidos.

*Página em branco*

# Abstract

*This document presents the results of the development of instruments that could be used in curricular activities within the subject of electrical installations in a laboratory context. Therefore, is expressed the theoretical and practical structure of methods that help demonstrate concepts related with electrical installations.*

*When the subjects on which this process would be based on were found - the subjects being earthing schemes, power factor correction, harmonics and polyphase systems - the design, development and construction of equipments and testing assemblies that could show and demonstrate the aforementioned subjects began.*

*This documents presents the work that was developed in order to fulfill the set targets, not only with the construction of the testing examples of the subjects in analysis, but also with the development of individual guides to each build, detailing the materials used, connecting schemes and suggesting methods to explore and use the prototypes at the disposal of the students and teachers of courses related with electrical installations.*

*Página em branco*

# Agradecimentos

Venho por este meio agradecer o apoio e empenho do meu Pai, Manuel Ferreira Rodrigues, na preciosa ajuda que me deu.

Agradeço também o apoio e empenho dos meus estimados orientadores, Professores José Eduardo Neves dos Santos e José Rui Pinto Ferreira, desde o desenvolvimento da ideia até à conceção final daquilo que veio a ser o trabalho apresentado.

Venho por este meio agradecer à empresa MFR Automation Systems, Lda. ([www.mfr.com.pt](http://www.mfr.com.pt)), pela cedência gratuita do material para a realização do trabalho, bem como de ferramentas e local para trabalho.

*Página em branco*



# Índice

Resumo .....	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos .....	vii
Índice.....	ix
Lista de figuras .....	xi
Lista de tabelas .....	xii
Abreviaturas e Símbolos .....	xiii
Capítulo 1 .....	14
Introdução.....	14
Capítulo 2 - Esquemas de ligação à terra.....	16
Introdução.....	16
2.1. Generalidades dos esquemas de ligação à terra .....	19
2.2. Esquema de ligação à terra TT .....	20
2.2.1. Montagem demonstrativa do esquema de ligação à terra TT .....	21
2.2.2. Guião de Utilização da montagem - sugestão de utilização.....	23
2.3. Esquema de ligação à terra TN .....	24
2.3.1. Montagem demonstrativa do esquema de ligação à terra TN.....	25
2.2.3. Guião de Utilização da montagem - sugestão de utilização.....	27
2.3. Esquema de ligação à terra IT .....	28
2.3.1. Montagem demonstrativa do esquema de ligação à terra IT.....	30
2.3.2. Guião de Utilização da montagem - sugestão de utilização.....	32
Capítulo 3 - Correção do fator de potência.....	34
Introdução.....	34
3.1. Montagem demonstrativa da correção do fator de potência.....	35
3.2. Guião de Utilização da montagem - sugestão de utilização.....	37
Capítulo 4 - Particularidades dos sistemas trifásicos .....	40
Introdução.....	40
4.1. Montagem demonstrativa do corte de neutro e desequilíbrio de cargas .....	42
4.2. Guião de utilização da montagem - sugestão de utilização - corte de neutro e desequilíbrio de cargas .....	43
4.3. Montagem demonstrativa da presença de harmónicos numa instalação elétrica .	45
4.4. Guião de utilização da montagem - sugestão de utilização - presença de harmónicos numa instalação elétrica .....	47
Capítulo 5 .....	48
Conclusão .....	48
Referências .....	50



# Lista de figuras

- Figura 2.1** - Gráfico das zonas de efeitos da corrente alternada no corpo humano, referenciadas num eixo corrente-tempo. [8].
- Figura 2.2** - Exemplo de contacto direto, onde *busbars* significa barramento e *touch current* significa corrente de contacto. [8].
- Figura 2.3** - Exemplo de contacto indireto, onde *insulation failure* significa quebra de isolamento e *insulation fault current* significa corrente de falha de isolamento. [8].
- Figura 2.4** - Esquema de distribuição de neutro TT. [8].
- Figura 2.5** - Ilustração do disparo automático das proteções contra contactos indirectos, num sistema TT, onde *substation earth electrode* significa elétrodo de terra da subestação e *installation earth electrode* significa elétrodo de terra da instalação. [8].
- Figura 2.6** - Esquema da montagem efetuada para o sistema de distribuição de neutro TT.
- Figura 2.7** - Foto da montagem efetuada para o sistema de distribuição de neutro TT.
- Figura 2.8** - Esquema de distribuição de neutro TN-S. [8].
- Figura 2.9** - Esquema de distribuição de neutro TN-C. [8].
- Figura 2.10** - Esquema da montagem efetuada para o sistema de distribuição de neutro TN.
- Figura 2.11** - Foto da montagem efetuada para o sistema de distribuição de neutro TN.
- Figura 2.12** - Esquema de distribuição de neutro IT. [8].
- Figura 2.13** - Esquema da montagem efetuada para o sistema de distribuição de neutro IT.
- Figura 2.14** - Foto da montagem efetuada para o sistema de distribuição de neutro IT.
- Figura 3.1** - Triângulo de Potências. [3].
- Figura 3.2** - Esquema da montagem efetuada para a correção do fator de potência.
- Figura 3.3** - Foto da montagem efetuada para a correção do fator de potência.
- Figura 4.1** - Esquema da montagem efetuada para o corte de neutro e desequilíbrio de cargas.
- Figura 4.2** - Foto da montagem efetuada para o corte de neutro e desequilíbrio de cargas.

# Lista de tabelas

**Tabela 2.1** – Descrição das zonas de efeito de corrente alternada no corpo humano, apresentadas na Figura 2.1 [1]

**Tabela 2.2** – Legendagem das figuras 2.6 e 2.7, com respectiva listagem de materiais utilizados.

**Tabela 2.3** – Legendagem das figuras 2.10 e 2.11, com respectiva listagem de materiais utilizados.

**Tabela 2.4** – Legendagem das figuras 2.13 e 2.14, com respectiva listagem de materiais utilizados.

**Tabela 3.1** – Legendagem das figuras 3.2 e 3.3, com respectiva listagem de materiais utilizados.

**Tabela 4.1** – Legendagem das figuras 4.1 e 4.2, com respectiva listagem de materiais utilizados.

# Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas (ordenadas por ordem alfabética)

FELV	<i>Functional Extra Low Voltage</i>
PELV	<i>Protective Extra Low Voltage</i>
PEN	Condutor proteção elétrica mais neutro
RCDs	<i>Residual Current Devices</i>
RTIEBT	Regras técnicas de instalações elétricas de baixa tensão
SELV	<i>Safety Extra Low Voltage</i>

Lista de símbolos

$\Omega$	Ohms
$\varphi$	Ângulo phi
A	Amperes
V	Volts
$\mu F$	Microfarads
W	Watts

# Capítulo 1

## Introdução

O trabalho que se apresenta nesta dissertação consiste na conceção, desenvolvimento e construção de montagens exemplificativas de determinados conceitos associados às instalações elétricas, lecionados em diversas unidades curriculares. Com o design destas montagens, pretende-se corresponder a um desafio lançado pelos orientadores desta tese, no sentido de idealizar guiões laboratoriais que pudessem introduzir uma componente didática no ensino de temas fundamentais na utilização e exploração de instalações elétricas no contexto social e tecnológico atual.

Os temas abordados neste trabalho foram selecionados pela sua influência clara na exploração diária das instalações elétricas de uso comum e, logo, relevantes no guião de uma unidade curricular que aborde esta área. Pretende-se assim dar destaque aos sistemas de ligação à terra de uma instalação, como meio essencial de salvaguarda e proteção de pessoas e utilizadores de um sistema elétrico, nas variantes distintas que são abordadas neste documento e representadas com a respetiva montagem ilustrativa. Será abordada e analisada a problemática do fator de potência, cujas influências numa instalação industrial trazem desvantagens significativas de exploração, não só do ponto de vista elétrico, mas também do ponto de vista económico, mitigadas por meio de metodologias de correção e compensação destacadas neste trabalho. A distribuição de energia em sistemas trifásicos neste tipo de instalações industriais é também analisada, à luz das implicações decorrentes da gestão das cargas alimentadas, na sua tipologia de funcionamento e integração no sistema, nomeadamente nas questões relacionadas com a presença de cargas desequilibradas ou cargas que introduzam harmónicos no sistema elétrico, situações que são potenciais fontes de complicações.

A escolha destes tópicos destina-se a reforçar, com o trabalho de criação de ferramentas físicas para utilização em contexto de laboratório que foi desenvolvido, a importância da verificação prática dos contextos apreendidos em sala de aula, como meio de formação no campo das instalações elétricas. Com o recurso às ferramentas criadas de raiz, à luz desta dissertação, pretende-se criar uma maior sensibilização para as temáticas selecionadas neste trabalho, não só pelos atuais estudantes, mas também de futuros alunos de unidades curriculares ligadas às instalações elétricas, para cujos guiões o trabalho exposto neste documento pretende contribuir.

Com efeito, a complementaridade com os programas letivos proporcionada pelas montagens originais que foram criadas nesta dissertação, com o objetivo de ficarem disponíveis para uma posterior utilização nos laboratórios da faculdade, pretende, noutra patamar, também revelar e desenvolver eventuais bases para a repetibilidade deste método em situações futuras, onde se vejam vantagens em reforçar o programa de uma unidade curricular com metodologias práticas e didáticas de aprendizagem.

O trabalho realizado nesta dissertação pretende fazer parte da resposta à falta de prática que os estudantes de instalações elétricas revelam na abordagem aos temas em análise, necessidade esta identificada em conjunto pelo autor e pelos orientadores, relativamente à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Não se pretendeu abordar as práticas efetuadas noutras instituições de ensino, não se tendo explorado esta vertente de contextualização do trabalho realizado.

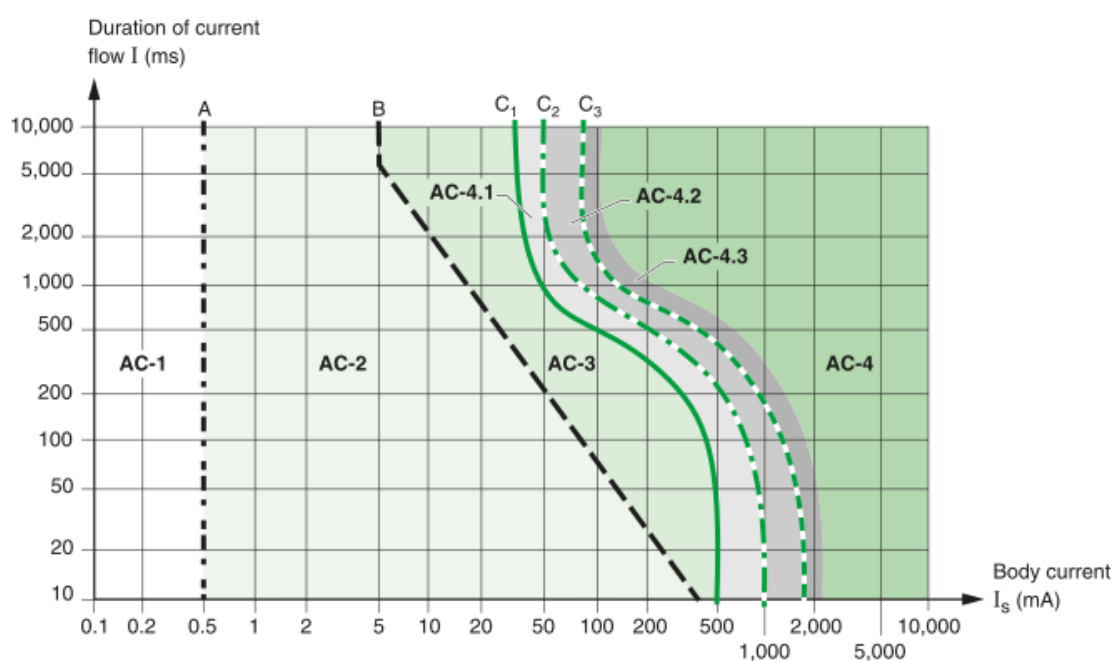
## Capítulo 2 - Esquemas de ligação à terra

### Introdução

Um choque elétrico induz efeitos físicos decorrentes da passagem de corrente elétrica através do corpo humano. Esta passagem tem efeitos ao nível das funções musculares, circulatórias e respiratórias do corpo humano, em função da magnitude da corrente circulante, que partes do corpo são afetadas e da duração da dita passagem. [1]

Efeitos físicos de um choque elétrico podem exemplificar-se com a contração involuntária de músculos, dificuldades no controlo da respiração, fibrilação ventricular e queimaduras causadas devido ao efeito de Joule decorrente da passagem de corrente. [2]

Apresenta-se em seguida figura que elucida os efeitos da passagem de corrente no corpo humano e animais, segundo a norma IEC 60479-1.





**Figura 2.1** - Gráfico das zonas de efeitos da corrente alternada no corpo humano, referenciadas num eixo corrente-tempo. [8].

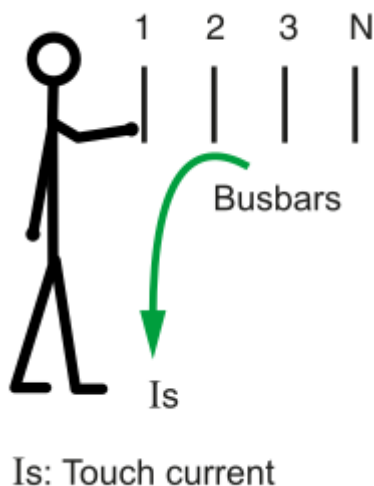
Zona	Efeitos no corpo humano
AC-1	Impercetíveis.
AC-2	Percetíveis.
AC-3	Probabilidade de contrações musculares e dificuldade de respiração. Efeitos reversíveis.
AC-4	Possibilidade de efeitos irreversíveis.
AC-4.1	Até 5% de hipótese de fibrilação cardíaca.
AC-4.2	Até 50% de hipótese de fibrilação cardíaca.
AC-4.3	Mais de 50% de hipótese de fibrilação cardíaca.
Curva A	Limiar de perceção de corrente
Curva B	Limiar da ocorrência de reações musculares
Curva C1	Limiar de 0% de hipótese de fibrilação ventricular.
Curva C2	Limiar de 5% de hipótese de fibrilação ventricular.
Curva C3	Limiar de 50% de hipótese de fibrilação ventricular.

**Tabela 2.1** – Descrição das zonas de efeito de corrente alternada no corpo humano, apresentadas na Figura 2.1 [1]

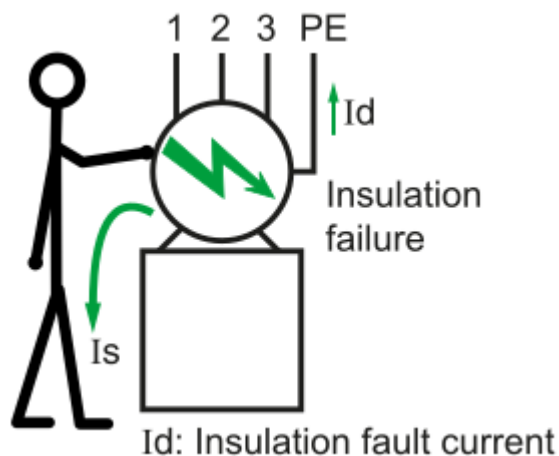
As normas e regulamentos aplicáveis no contexto da proteção de pessoas definem os contactos de um ser humano com partes ativas de uma instalação elétrica em dois tipos: o contacto direto e indireto. [1][2]

O contacto direto ocorre quando uma parte do corpo humano toca um condutor normalmente ativo, seja um barramento ou algum terminal de um cabo. [1]

Por oposição, o contacto indireto ocorre na circunstância de contacto com um elemento condutor de eletricidade constituinte da instalação elétrica, mas não normalmente ativo, mas onde existe tensão devido a um defeito da instalação ou desgaste dos materiais isolantes. [1]



**Figura 2.2** - Exemplo de contacto direto, onde *busbars* significa barramento e *touch current* significa corrente de contacto. [8].



**Figura 2.3** - Exemplo de contacto indireto, onde *insulation failure* significa quebra de isolamento e *insulation fault current* significa corrente de falha de isolamento. [8].

Os contactos diretos podem ser evitados recorrendo a medidas de proteção que integram o isolamento das partes ativas com materiais isolantes adequados (exemplo o isolamento de cabos). Outras medidas consistem na instalação de elementos protetores dos elementos condutores ativos, como quadros elétricos e tampas de proteção que garantam os níveis de

isolamento exigidos pelas normas aplicáveis (exemplo o índice de proteção IP2X em quadros elétricos), bem como a instalação de barreiras físicas entre elementos condutores de operadores do sistema, amovíveis apenas por ferramenta especial. [2][7]

As medidas de proteção que previnem danos ocorridos segundo contactos indiretos podem consistir no uso de equipamentos que garantam classe II de isolamento, a separação elétrica de circuitos, recorrendo a um transformador que isole determinado circuito da alimentação. Além disso, aplicam-se neste caso medidas de proteção que passam pela ligação à terra de todos os elementos condutores da instalação expostos ao contacto, bem como a corte automático da alimentação à zona da instalação onde ocorre o contacto, através do dimensionamento correto dos esquemas de neutro TT, TN e IT. [2]

Note-se que a proteção a contatos, quer diretos, quer indiretos, pode também passar pela aplicação de circuitos de baixa tensão, como definido na norma IEC 60364-4-41, segundo as siglas SELV (Safety Extra Low Voltage), PELV (Protective Extra Low Voltage) e FELV (Functional Extra Low Voltage). [2]

## **2.1. Generalidades dos esquemas de ligação à terra**

A escolha do regime de neutro a aplicar numa instalação define o comportamento dos defeitos à terra e as consequências dos contactos diretos e indiretos dos seres humanos com as massas da dita instalação, tendo assim implicações na proteção de pessoas. Para que esta proteção seja eficaz, o conhecimento acerca da escolha e dimensionamento de uma instalação elétrica na sua distribuição de neutro e respetivos equipamentos protetores deverá respeitar as normas aplicáveis, IEC 60364, começando nos tipos de regime de distribuição.

A norma IEC 60364 define os sistemas de distribuição segundo uma sigla de dois caracteres. O primeiro caracter define a ligação do neutro, indicando a ligação entre a terra de serviço e este ponto da instalação [1]:

T - Ligação direta do neutro da instalação à terra.

I - O neutro encontra-se isolado, não estando ligado à terra, não havendo ligações de condutores ativos à terra, exceto através de uma impedância de alto valor.

O segundo caracter define a ligação das massas da instalação à terra de proteção:

T - Existe uma ligação direta das massas da instalação à terra

N - A ligação das massas da instalação à terra é feita através do ponto neutro da instalação, que por sua vez está conectado à terra.

Caracteres adicionais definem pormenorizações da disposição do condutor neutro e do condutor de proteção.

S - O condutor de proteção e o condutor de neutro são separados

C - As funções de proteção e neutro da instalação são asseguradas pelo mesmo condutor, que toma a sigla PEN.

## 2.2. Esquema de ligação à terra TT

O sistema TT é aquele onde o ponto de neutro da instalação e as massas da instalação estão ligadas à terra. Este é o sistema de distribuição de neutro utilizado em instalações elétricas residenciais, não necessitando de monitorização especial e caracterizando-se pela sua fácil aplicação e dimensionamento. É obrigatório o corte do condutor neutro. [1]

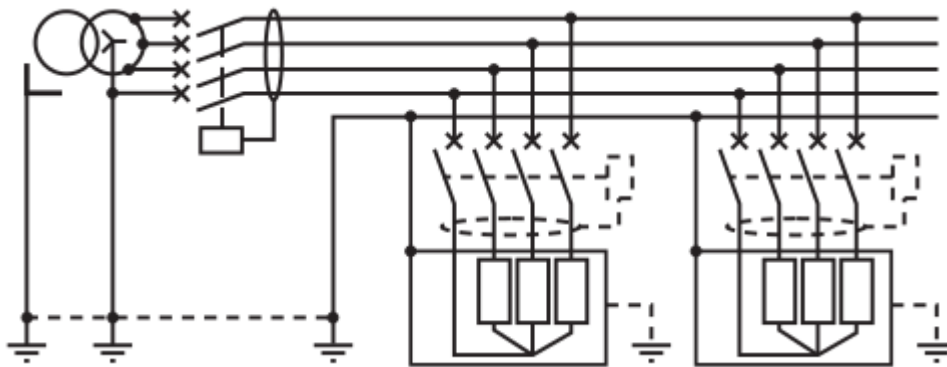


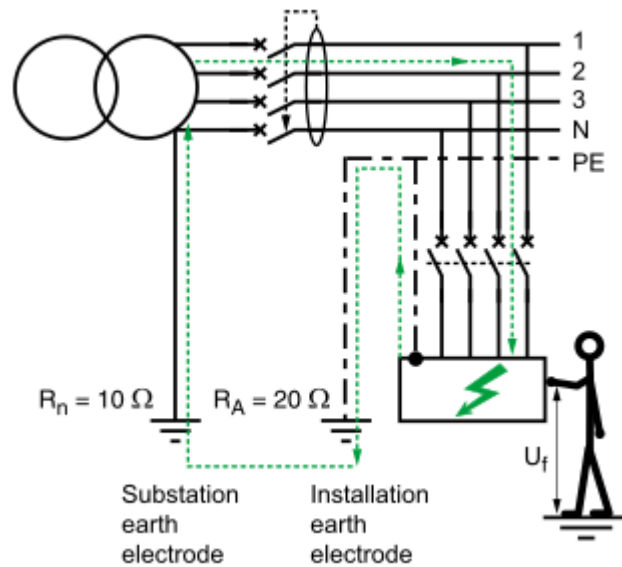
Figura 2.4 - Esquema de distribuição de neutro TT. [8].

Neste sistema, a corrente de defeito fecha-se através dos eletrodos de terra de neutro e das massas, que cujas altas impedâncias previnem o disparo de dispositivos contra sobreintensidades, tornando obrigatório o recurso a RCDs. O calibre dos RCDs,  $I_a$ , deve respeitar a seguinte regra, tal como disposto nas RTIEBT [7]:

$$R_a \times I_a \leq 50$$

Onde  $R_a$  é a soma das resistências do eletrodo de terra e dos condutores de proteção das massas, em  $\Omega$ .  $I_a$  corresponde à corrente que garante o funcionamento automático do dispositivo de proteção, em amperes.

Tendo como 50V o limite para o valor de tensão de contacto para circuitos em corrente alternada, a escolha do calibre de um RCD deve respeitar a fórmula anterior, de modo a assegurar o disparo automático dos dispositivos de proteção ao sistema TT. [7]



**Figura 2.5** - Ilustração do disparo automático das proteções contra contactos indirectos, num sistema TT, onde *substation earth electrode* significa eléctrodo de terra da subestação e *installation earth electrode* significa eléctrodo de terra da instalação. [8].

Note-se que também deve ser assegurado o tempo máximo de disparo de um RCD num sistema TT, relativamente às correntes de defeito fase-terra verificadas no circuito em causa e respectivas resistências dos eléctrodos de terra e neutro. [1][2]

### 2.2.1. Montagem demonstrativa do esquema de ligação à terra TT

Apresentam-se de seguida os esquemas seguidos na construção da montagem demonstrativa para o sistema TT. Todas as montagens apresentadas neste capítulo possuem um transformador que isola o painel de teste da rede de alimentação. Note-se que se introduziu uma terra de proteção da montagem, seccionável, para maior segurança dos utilizadores da instalação, conforme figuras 2.6 e 2.7. Todas as montagens devem ser verificadas antes da sua utilização.

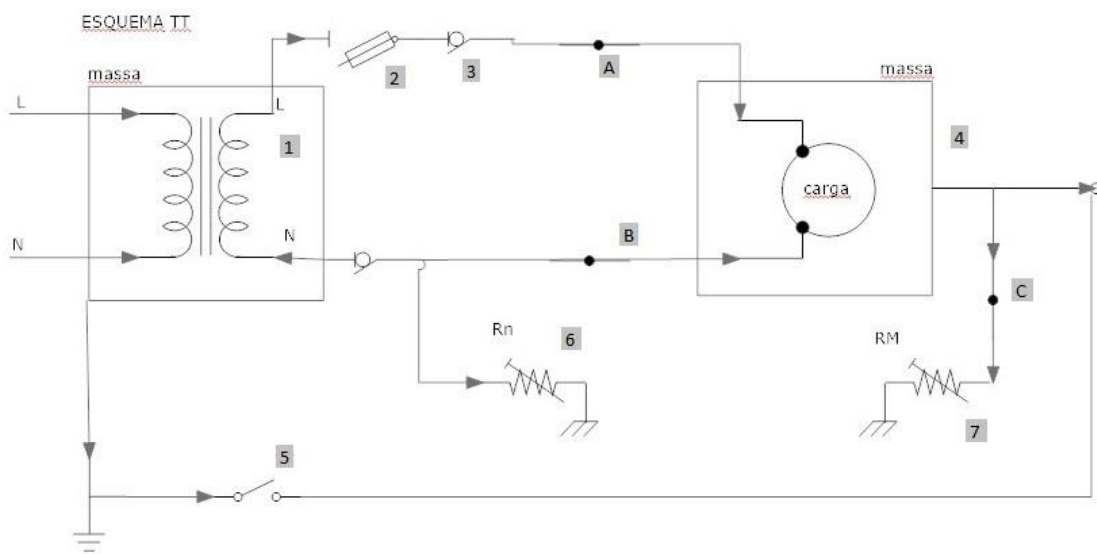


Figura 2.6 - Esquema da montagem efetuada para o sistema de distribuição de neutro TT.

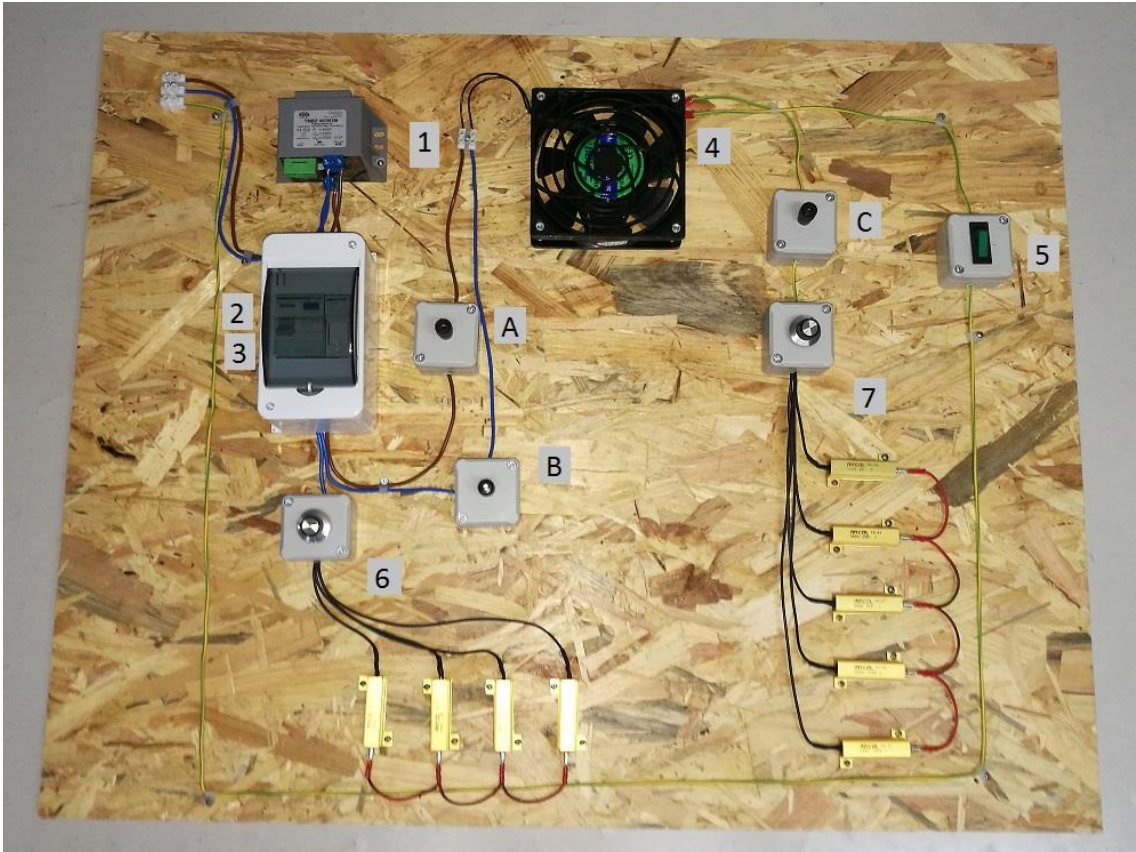


Figura 2.7 - Foto da montagem efetuada para o sistema de distribuição de neutro TT.

Apresentam-se de seguida os materiais utilizados na construção da montagem demonstrativa para o sistema TT, conforme tabela 2.2.

Legenda	Quantidade	Material
1	1	Transformador 230VAC- 230VAC 45VA
2	1	Seccionador Fusível c/Fusível 10x38 2A
3	1	Interruptor Diferencial 1P+N 30mA
4	1	Ventilador 120x120x25 230VAC
5	1	Interruptor 10A
6	1	Resistência bobinada 1 $\Omega$
6	1	Resistência bobinada 22 $\Omega$

6	1	Resistência bobinada 50 $\Omega$
6	1	Resistência bobinada 100 $\Omega$
7	1	Resistência bobinada 1 $\Omega$
7	1	Resistência bobinada 22 $\Omega$
7	1	Resistência bobinada 50 $\Omega$
7	1	Resistência bobinada 100 $\Omega$
7	1	Resistência bobinada 150 $\Omega$
6, 7	2	Seletor 2 posições
A, B, C	diversas	Bananas de Ligação
	diversas	Caixas de montagem dos aparelhos
	vários	metros Fio H05VV-F 1,5mm <sup>2</sup>
	diversos	Acessórios de construção da montagem, ligadores e acessórios de ligação do painel

**Tabela 2.2** — Legenda das figuras 2.6 e 2.7, com respectiva listagem de materiais utilizados.

### 2.2.2. Guião de Utilização da montagem - sugestão de utilização

Apresenta-se de seguida uma sugestão para a metodologia a utilizar no uso da montagem demonstrativa para o sistema TT, de modo a exemplificar os conceitos em análise.

O objetivo da utilização desta montagem é verificar as particularidades do sistema de ligação à terra TT. Os estudantes deverão avaliar como evolui a tensão de contacto fase-terra com a alteração dos valores do eletrodo de terra e neutro, elucidando os possíveis defeitos no isolamento de contactos indiretos.

Guião de Utilização da montagem:

- 1) Alimente o painel da montagem com uma ficha monofásica. Meça as tensões fase-neutro que alimentam o painel. Meça a tensão de saída do transformador. Registe-as.
  - a) Verifique a continuidade do condutor de terra de proteção, que possui interruptor.
  - b) Verifique que todos os seletores de resistências se encontram na sua posição inicial.
- 2) Ligue o Interruptor Diferencial.
  - a) Verifique que o ventilador começa a funcionar.
- 3) Desligue o interruptor da terra de segurança.

- 4) Meça as tensões entre todos os pontos de medição disponíveis. Registe os valores medidos.
- 5) Meça a tensão de contacto entre a massa do ventilador e o ponto de medição do condutor terra disponível.
- 6) Individualmente selecione, através do seletor disponível no condutor neutro, resistência de valores diferentes, começando da mais pequena para a maior.
- 7) Meça as tensões entre todos os pontos de medição disponíveis. Registe os valores medidos e compare-os com os valores anteriormente medidos.
- 8) Volte a colocar o seletor disponível no condutor neutro na posição inicial.
- 9) Repita o processo, seleccionando diferentes valores de resistência no seletor disponível no condutor terra.

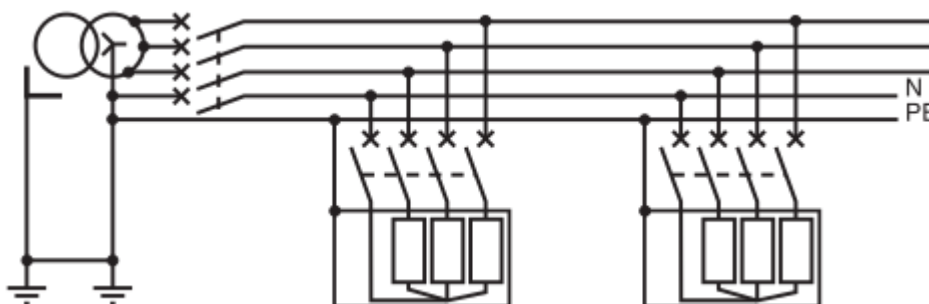
## 2.3. Esquema de ligação à terra TN

O sistema TN é o sistema de distribuição de neutro onde o ponto neutro da instalação se encontra ligado à terra, mas as massas da instalação são ligadas ao condutor neutro. Este sistema é utilizado na rede de distribuição em BT ou em instalações industriais onde as ligações à terra não apresentam boa qualidade. É necessária uma monitorização especial de instalações e eventuais alterações em que seja utilizada esta filosofia de distribuição de neutro. O sistema TN pode ser subdividido em três variantes, TN-C, TN-S e TN-C-S. [1]

Na variante TN-C, o condutor neutro assume também funções de proteção, sendo referido como PEN, e a sua utilização encontra-se limitada a instalações fixas com condutores rígidos de secção superior a  $10\text{mm}^2$ . [1]

Para este sistema é necessário assegurar a equipotencialidade do condutor PEN, que conduz corrente em circuitos trifásicos desequilibrados, mas também assegura a circulação de harmónicos de ordem 3 ou superior, sendo necessária a sua ligação regular a eletrodos de terra. Note-se que no sistema TN-C, a função de proteção do condutor PEN sobrepõe-se à função de neutro, que não pode ser seccionado. [1]

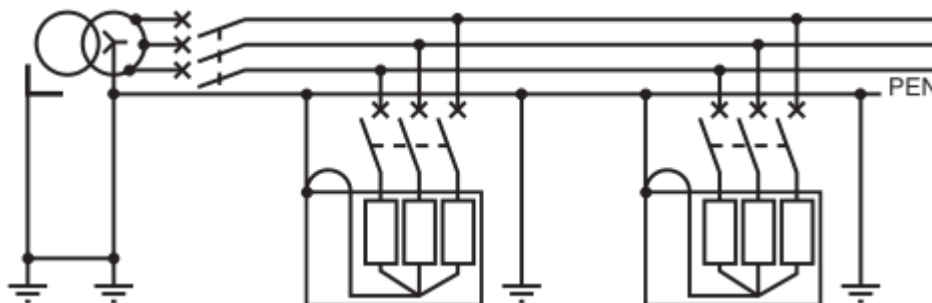
No sistema TN-S a distribuição do neutro é separada do condutor de proteção, sendo neste caso obrigatório o corte do neutro. Este sistema pode ser utilizado em instalações que utilizem condutores flexíveis de secções inferiores a  $10\text{mm}^2$ . [1]





**Figura 2.8** - Esquema de distribuição de neutro TN-S. [8].

A variante TN-C-S constitui um sistema combinado entre as variantes TN-C e TN-S em utilização simultânea no mesmo circuito de instalação. Note-se que parte do circuito desenhada segundo a lógica TN-C deve sempre apresentar-se a montante da instalação. [1][7]



**Figura 2.9** - Esquema de distribuição de neutro TN-C. [8].

A proteção contra contactos indirectos é assegurada através de dispositivos contra sobreintensidades, como fusíveis ou disjuntores. A malha de defeito num sistema TN reduz-se a uma conexão em série entre o condutor de fase e o condutor de proteção, não sendo afetada a ligação à terra. O dimensionamento do circuito de distribuição de neutro deverá respeitar a seguinte formula, conforme descrito nas RTIEBT:

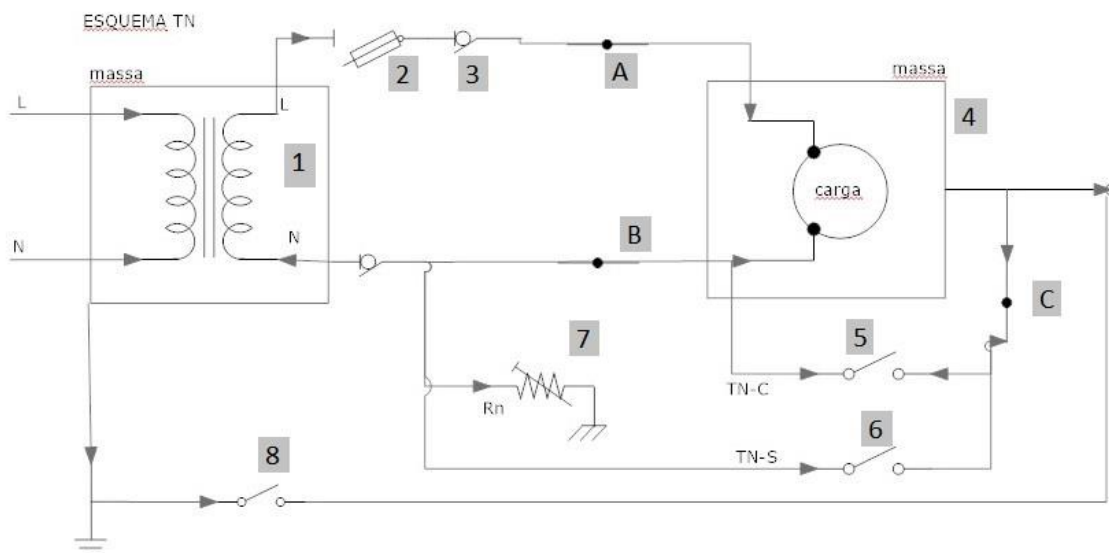
$$Z_s \times I_a \leq U_o$$

Onde  $Z_s$  é a impedância da malha de defeito (incluindo a fonte de alimentação, o condutor ativo até ao ponto de defeito e o condutor de proteção entre o ponto de defeito e a fonte de alimentação), em  $\Omega$ .  $I_a$  corresponde à corrente que garante o funcionamento do dispositivo de corte automático nos tempos regulamentares (em caso de dispositivos RCD, toma-se este valor como a corrente diferencial-residual estipulada), em amperes.  $U_o$  é a tensão nominal entre a fase e a terra (valor eficaz em corrente alternada), em volts.

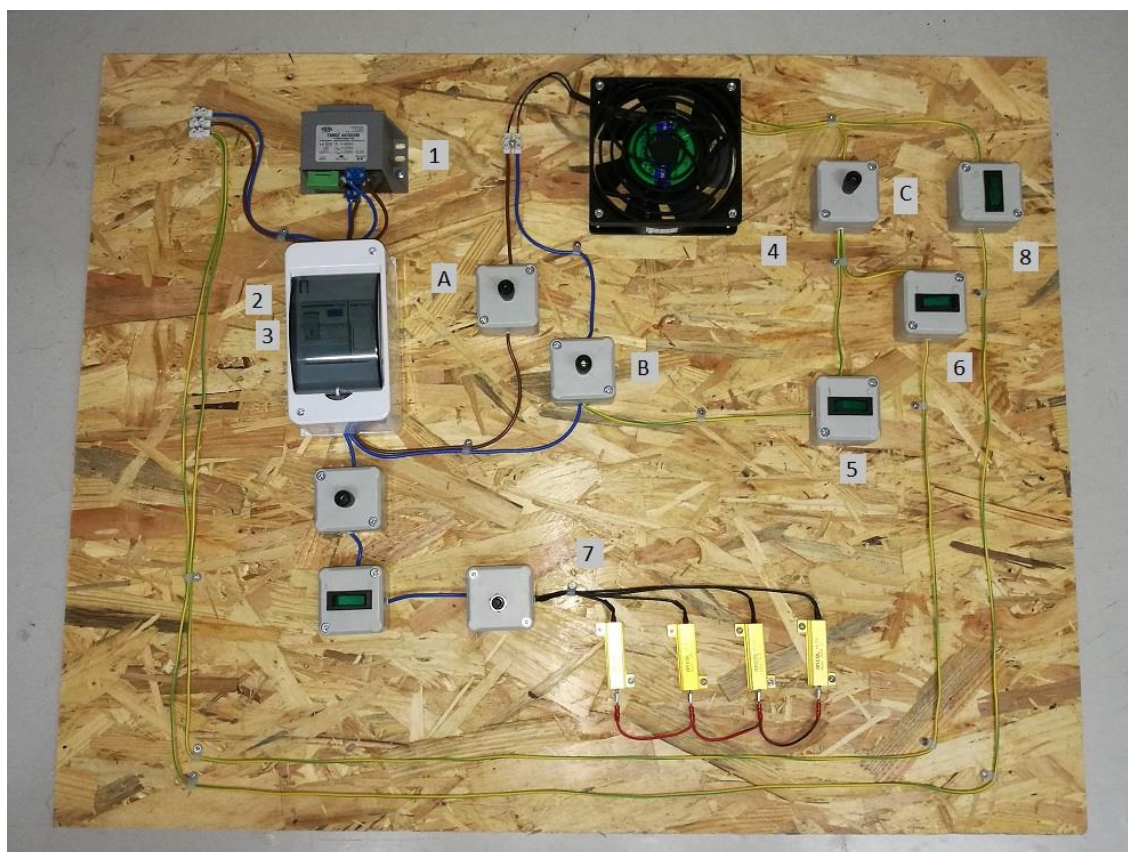
A escolha do dispositivo de disparo automático deve ser devidamente coordenada em relação às correntes de defeito expectáveis. Note-se que é possível, em sistemas TN-S, o uso de dispositivos de corrente residual (RCDs), sobretudo quando se verificam correntes de defeito baixas, que não ativem o disparo de dispositivos protetores contra sobreintensidades. O uso de RCDs em distribuições TN-C está proibido, dado que as funções combinadas do condutor PEN impedem o funcionamento destes dispositivos. [2]

### **2.3.1. Montagem demonstrativa do esquema de ligação à terra TN**

Apresentam-se de seguida os esquemas seguidos na construção da montagem demonstrativa para o sistema TN. Note-se que se introduziu uma terra de proteção da montagem, seccionável, para maior segurança dos utilizadores da instalação. Todas as montagens devem ser verificadas antes da sua utilização.



**Figura 2.10** - Esquema da montagem efetuada para o sistema de distribuição de neutro TN.



**Figura 2.11** - Foto da montagem efetuada para o sistema de distribuição de neutro TN.

Apresentam-se de seguida os materiais utilizados na construção da montagem demonstrativa para o sistema TN, conforme tabela 2.3:

Legenda	Quantidade	Material
1	1	Transformador 230VAC- 230VAC 45VA
2	1	Seccionador Fusível c/Fusível 10x38 2A
3	1	Interruptor Diferencial 1P+N 30mA
4	1	Ventilador 120x120x25 230VAC
5, 6	2	Interruptor 10A
7	1	Resistência bobinada 1 $\Omega$
7	1	Resistência bobinada 22 $\Omega$
7	1	Resistência bobinada 50 $\Omega$
7	1	Resistência bobinada 100 $\Omega$
7	2	Seletor 2 posições
A, B, C	diversas	Bananas de Ligação
	diversas	Caixas de montagem dos aparelhos
	vários	metros Fio H05VV-F 1,5mm <sup>2</sup>
	diversos	Acessórios de construção da montagem, ligadores e acessórios de ligação do painel

**Tabela 2.3** – Legenda das figuras 2.10 e 2.11, com respetiva listagem de materiais utilizados.

### 2.2.3. Guião de Utilização da montagem - sugestão de utilização

Apresenta-se de seguida uma sugestão para a metodologia a utilizar no uso da montagem demonstrativa para o sistema TN, de modo a exemplificar os conceitos em análise.

O objetivo da utilização desta montagem é verificar as particularidades do sistema de ligação à terra TN. Os estudantes deverão avaliar como evolui a tensão de contacto fase-terra com a alteração dos valores do eletrodo de neutro, elucidando os possíveis defeitos no

isolamento de contactos indirectos. Também se pretende elucidar as diferenças entre um sistema de ligação à terra com ou sem distribuição de neutro.

Guião de Utilização da montagem:

- 1) Alimente o painel da montagem com uma ficha monofásica. Meça as tensões fase-neutro que alimentam o painel. Meça a tensão de saída do transformador. Registe-as.
  - a) Verifique a continuidade do condutor de terra de proteção, que possui interruptor.
  - b) Verifique que todos os seletores de resistências se encontram na sua posição inicial.
  - c) Verifique que apenas um interruptor que seleciona o regime de neutro (TN-C e TN-S) se encontra ligado.
- 2) Ligue o Interruptor Diferencial.
  - a) Verifique que o ventilador começa a funcionar.
- 3) Desligue o interruptor da terra de segurança.
- 4) Meça as tensões entre todos os pontos de medição disponíveis. Registe os valores medidos.
- 5) Meça a tensão de contacto entre a massa do ventilador e o ponto de medição do condutor terra disponível.
- 6) Individualmente selecione, através do seletor disponível no condutor neutro, resistência de valores diferentes, começando da mais pequena para a maior.
- 7) Meça as tensões entre todos os pontos de medição disponíveis. Registe os valores medidos e compare-os com os valores anteriormente medidos.
- 8) Volte a colocar o seletor disponível no condutor neutro na posição inicial.
- 9) Repita todo o processo, desta vez utilizando o outro circuito de distribuição de neutro (TN-C ou TN-S) não selecionado nos passos anteriores.
  - a) Verifique que apenas um interruptor se encontra selecionado.

## 2.3. Esquema de ligação à terra IT

No sistema IT o condutor neutro da instalação encontra-se isolado da terra ou ligado a esta através de uma impedância de valor elevado (neutro impedante). As massas do circuito encontram-se ligadas diretamente a um eletrodo de terra. Este sistema, onde o condutor neutro pode ou não ser distribuído, oferece uma maior continuidade de serviço, sendo utilizado em instalações elétricas de hospitais, aeroportos ou instalações com grande risco de incêndio ou explosão. [1]

A proteção a contactos indirectos ocorridos num sistema IT segue uma lógica de identificação de dois defeitos distintos. No primeiro defeito à terra, verifica-se uma corrente de defeito baixa por efeito da capacitância dos condutores por onde se fecha o defeito, desde duas fases até ao neutro da instalação, evitando o disparo das proteções contra sobreintensidades e limitando as tensões de contacto. [1][2]

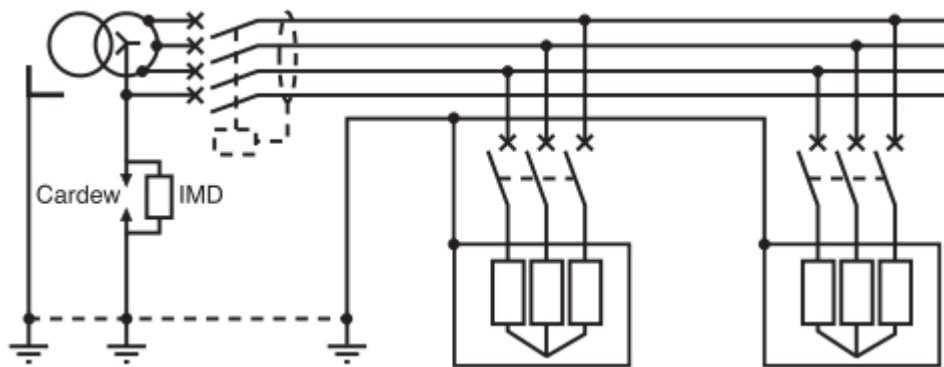


Figura 2.12 - Esquema de distribuição de neutro IT. [8].

Note-se a necessidade de monitorização permanente do nível de isolamento à terra, por meio de aparelho especial, com emissão de alarme na ocorrência do dito primeiro defeito. [1]

O disparo automático dos sistemas de proteção na ocorrência do primeiro defeito é evitado sendo cumpridas as condições das fórmulas abaixo indicadas. Neste caso, a tensão de contacto deverá tomar valores abaixo dos 50V normalizados. [7]

$$R_a \times I_d \leq 50$$

Onde  $R_a$  é soma das resistências do eléctrodo de terra e dos condutores de proteção das massas, em  $\Omega$ .  $I_d$  é a corrente de defeito no caso de um primeiro defeito entre um condutor de fase e uma massa, em amperes.

A proteção ao segundo defeito opera segundo as condições aplicáveis aos sistemas TT e TN, já mencionadas anteriormente, e segundo o seguinte formulário, para instalações com neutro não distribuído e distribuído, respetivamente. [7]

$$Z_s \leq \frac{\sqrt{3} \times U_0}{2 \times I_0}$$

$$Z_s' \leq \frac{\sqrt{3} \times U_0}{2 \times I_0}$$

Onde  $Z_s$  é a impedância da malha de defeito, constituída pelo condutor de fase e pelo condutor de proteção do circuito, em  $\Omega$ .  $Z_s'$  é a impedância da malha de defeito, constituída pelo condutor de neutro e pelo condutor de proteção do circuito.  $I_0$  é a corrente que garante o funcionamento automático dos dispositivos de proteção, em amperes.  $U_0$  é a tensão nominal entre a fase e a terra (valor eficaz em corrente alternada), em volts.

Note-se que a norma aplicável neste domínio não recomenda sistemas IT com neutro distribuído, por dificuldade de cumprimento dos critérios de impedância normalizados. [2]

A escolha de dispositivos RCDs deverá ser feita, tal como anteriormente descrito, no sentido de evitar disparos acidentais, causados devido ao circuito de fecho do primeiro defeito à terra.

Em vez da linha com defeito, poderão ser afetadas com correntes de defeito elevadas fases sãs com capacitância superior. [2]

### 2.3.1. Montagem demonstrativa do esquema de ligação à terra IT

Apresentam-se de seguida os esquemas seguidos na construção da montagem demonstrativa para o sistema IT. Note-se que se introduziu uma terra de proteção da montagem, seccionável, para maior segurança dos utilizadores da instalação. Todas as montagens devem ser verificadas antes da sua utilização.

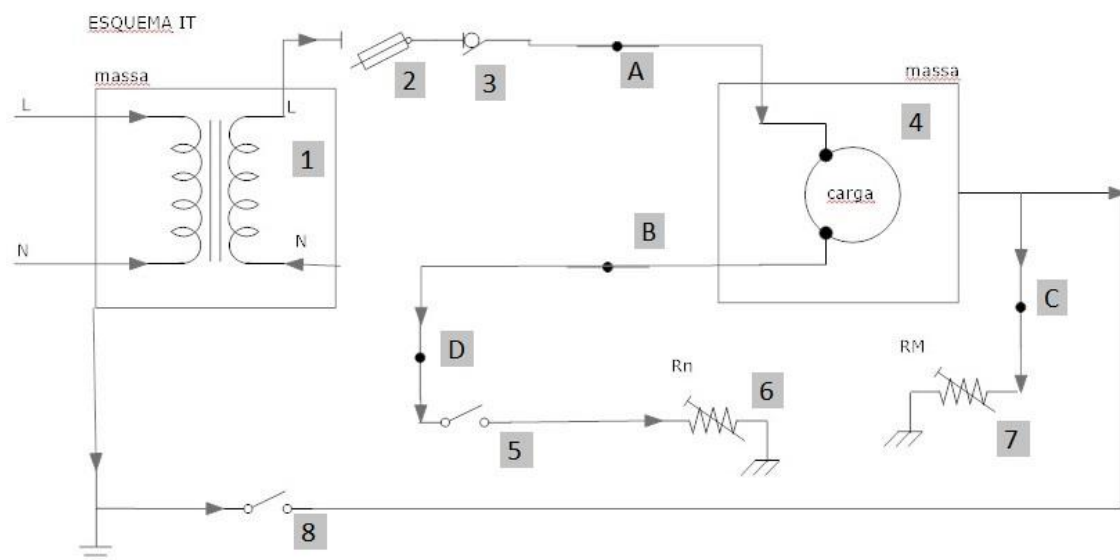


Figura 2.13 - Esquema da montagem efetuada para o sistema de distribuição de neutro IT.





**Figura 2.14** - Foto da montagem efetuada para o sistema de distribuição de neutro IT.

Apresentam-se de seguida os materiais utilizados na construção da montagem demonstrativa para o Sistema IT, conforme figuras 2.13 e 2.14:

Legenda	Quantidade	Material
1	1	Transformador 230VAC- 230VAC 45VA
2	1	Seccionador Fusível c/Fusível 10x38 2A
3	1	Interruptor Diferencial 1P+N 30mA
4	1	Ventilador 120x120x25 230VAC
5, 8	2	Interruptor 10A
5	1	Resistência bobinada 1 $\Omega$
5	1	Resistência bobinada 22 $\Omega$

5	1	Resistência bobinada 50 $\Omega$
5	1	Resistência bobinada 100 $\Omega$
7	1	Resistência bobinada 1 $\Omega$
7	1	Resistência bobinada 22 $\Omega$
7	1	Resistência bobinada 50 $\Omega$
7	1	Resistência bobinada 100 $\Omega$
7	1	Resistência bobinada 150 $\Omega$
5, 7	2	Seletor 2 posições
A, B, C	diversas	Bananas de Ligação
	diversas	Caixas de montagem dos aparelhos
	vários	metros Fio H05VV-F 1,5mm <sup>2</sup>
	diversos	Acessórios de construção da montagem, ligadores e acessórios de ligação do painel

**Tabela 2.4** – Legendagem das figuras 2.13 e 2.14, com respetiva listagem de materiais utilizados.

### 2.3.2. Guião de Utilização da montagem - sugestão de utilização

Apresenta-se de seguida uma sugestão para a metodologia a utilizar no uso da montagem demonstrativa para o sistema IT, de modo a exemplificar os conceitos em análise.

O objetivo da utilização desta montagem é verificar as particularidades do sistema de ligação à terra IT. Os estudantes deverão avaliar como evolui a tensão de contacto fase-terra com a alteração dos valores do neutro impedante e isolado, bem como o elétrodo de terra, elucidando os possíveis defeitos no isolamento de contactos indiretos.

Guião de Utilização da montagem:

1. Alimente o painel da montagem com uma ficha monofásica. Meça as tensões fase-neutro que alimentam o painel. Meça a tensão de saída do transformador. Registe-as.
  - a. Verifique a continuidade do condutor de terra de proteção, que possui interruptor.
  - b. Verifique que todos os seletores de resistências se encontram na sua posição inicial.
  - c. Verifique que apenas um interruptor que seleciona o regime de neutro (neutro isolado) se encontra ligado.



2. Ligue o Interruptor Diferencial.
  - a. Verifique que o ventilador começa a funcionar.
3. Desligue o interruptor da terra de segurança.
4. Meça as tensões entre todos os pontos de medição disponíveis. Registe os valores medidos.
5. Meça a tensão de contacto entre a massa do ventilador e o ponto de medição do condutor terra disponível.
6. Individualmente selecione, através do seletor disponível no condutor neutro, resistência de valores diferentes, começando da mais pequena para a maior.
7. Meça as tensões entre todos os pontos de medição disponíveis. Registe os valores medidos e compare-os com os valores anteriormente medidos.
8. Volte a colocar o seletor disponível no condutor neutro na posição inicial.
9. Repita o processo, seleccionando diferentes valores de resistência no seletor disponível no condutor terra.
10. Volte a colocar o seletor disponível no condutor neutro na posição inicial.
11. Desligue a montagem.
12. Repita todo o processo, desta vez utilizando o outro circuito de distribuição de neutro (neutro isolado).
  - a. Verifique que este interruptor se encontra desligado.

# Capítulo 3 - Correção do fator de potência

## Introdução

O fator de potência é um indicador da qualidade de concepção e gestão de uma instalação elétrica, e é medido pelo rácio entre a potência ativa, convertida pelas cargas alimentadas em trabalho, e a potência aparente, resultante da tensão nominal fornecida e corrente absorvida por determinada carga (motores, lâmpadas, entre outros) ou instalação. O fator de potência assume valores entre 0 e 1. [1]

Na maioria das cargas elétricas, como motores, a corrente absorvida encontra-se atrasada face à tensão nominal aplicada à carga em questão de um determinado ângulo. Esta relação entre tensão e corrente pode ser representada, recorrendo ao plano complexo, através do triângulo de potências. [3]

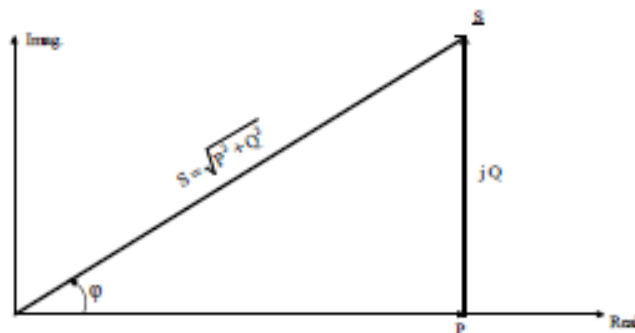


Figura 3.1 - Triângulo de Potências. [3].

A partir desta representação é possível deduzir todas relações fundamentais para o cálculo do fator de potência, nomeadamente a relação entre a potência aparente  $S$ , potência ativa  $P$  e potência reativa  $Q$ :

$$S = V \times I$$

$$S = \sqrt{3} \times U \times I$$

$$P = V \times I \times \cos \varphi$$

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi$$

$$Q = V \times I \times \sin \varphi$$

$$Q = \sqrt{3} \times U \times I \times \sin \varphi$$

Onde  $V$  é a tensão fase-neutro,  $U$  a tensão fase-fase,  $I$  a corrente de fase e  $\varphi$  o ângulo entre a tensão e a corrente, referida ao triângulo de potências. [1].

A melhoria do fator de potência de uma instalação elétrica traz vantagens importantes na sua exploração. Um baixo fator de potência permite a redução do diâmetro das cablagens utilizadas, devido à redução da potência aparente que nelas circula. Tendo a relação da corrente como produto da potência aparente pela tensão, a corrente que circula nas cablagens diminui com a diminuição da potência aparente circulante. [2][3]

Esta redução da potência aparente permite também uma redução de perdas nas mesmas cablagens. A correção do fator de potência permite também redução de quedas de tensão, bem como um aumento da potência disponível para fornecimento por um determinado posto de transformação. A estas vantagens acrescentam-se vantagens económicas, por redução do valor da fatura de energia fornecida a determinada instalação elétrica. [3][1]

A correção do fator de potência passa pelo fornecimento de energia reativa à instalação elétrica produzida por condensadores. A utilização de condensadores deve-se ao facto de, tipicamente, as instalações elétricas industriais constituírem cargas maioritariamente indutivas (pelo uso comum de motores de indução), produzindo um fator de potência indutivo (corrente “atrasada” face à tensão). [3]

A potência produzida pela instalação de condensadores tem um fator de potência capacitivo (onde a corrente “adiantada” face à tensão), corrigindo o fator de potência global da instalação. [3]

### **3.1. Montagem demonstrativa da correção do fator de potência.**

Apresentam-se de seguida os esquemas seguidos na construção da montagem demonstrativa para a correção do fator de potência. Note-se que se recorreu a uma lâmpada fluorescente equipada com balastro ferromagnético para ilustrar uma carga com baixo fator de potência.

Para a correção do baixo fator de potência desta carga (0,35, segundo características inscritas no próprio aparelho), recorreu-se a uma correção por via de condensadores ligados em paralelo. [6] Todas as montagens devem ser verificadas antes da sua utilização.

# ESQUEMA CORREÇÃO FATOR POTÊNCIA

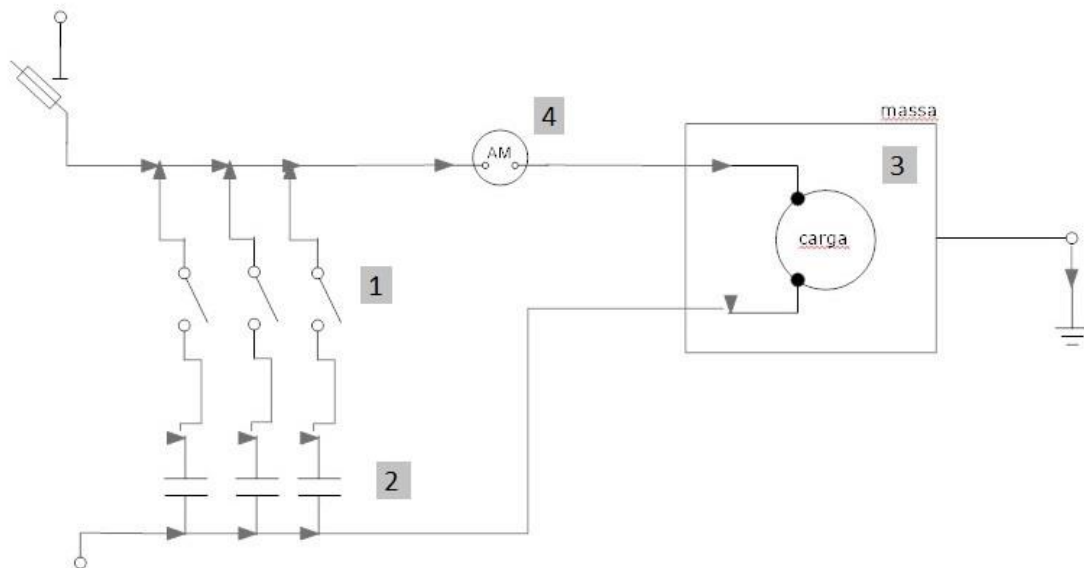
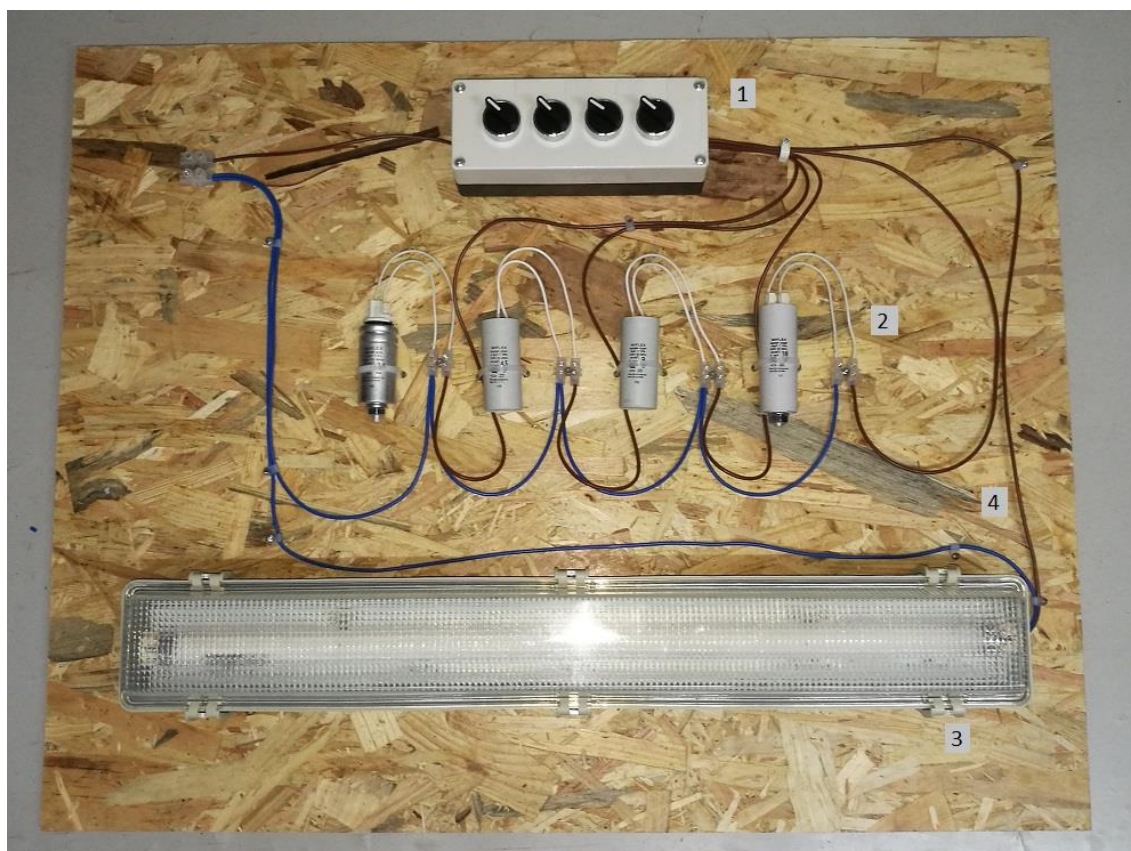


Figura 3.2 - Esquema da montagem efetuada para a correção do fator de potência.



**Figura 3.3** - Foto da montagem efetuada para a correção do fator de potência.

Apresentam-se de seguida os materiais utilizados na construção da montagem demonstrativa da correção do fator de potência, conforme figuras 3.1 e 3.2:

Legenda	Quantidade	Material
1	4	Seletor 2posições 10A 250VAC
2	1	Condensador $3,5\mu F$ 450V
2	1	Condensador $4,5\mu F$ 450V
2	1	Condensador $9\mu F$ 450V
2	1	Condensador $18\mu F$ 450V
3	1	Armadura com lâmpada fluorescente 18W, balastro ferromagnético
4		fator de potência do conjunto armadura mais lâmpada: 0,35
		Ponto de medição da corrente que alimenta a carga em teste
	vários	metros Fio H05VV-F $1,5mm^2$
	diversos	Acessórios de construção da montagem, ligadores e acessórios de ligação do painel

**Tabela 3.1** — Legendagem das figuras 3.2 e 3.3, com respetiva listagem de materiais utilizados.

### 3.2. Guião de Utilização da montagem - sugestão de utilização

Apresenta-se de seguida uma sugestão para a metodologia a utilizar no uso da montagem demonstrativa para a correção do fator de potência, de modo a exemplificar os conceitos em análise.

O objetivo da utilização desta montagem é verificar as particularidades da correção do fator de potência em instalações elétricas. Os estudantes deverão avaliar o fator de potência da carga experimental que se apresenta a teste. Deverão ser experimentadas diversas combinações de condensadores, para ilustrar os efeitos em termos de corrente quando se

verifica a sub-compensação ou sobre-compensação do fator de potência. Pretendem-se ilustrar os efeitos plausíveis na corrente absorvida pela carga de um fator de potência indutivo e capacitivo.

Guião de Utilização da montagem:

- 1) Alimente o painel da montagem com uma ficha monofásica, verificando que todos os seletores estão desligados.
- 2) Meça as tensões fase-neutro que alimentam o painel. Registe-as.
  - a) Verifique que a lâmpada acende.
- 3) Meça as correntes absorvidas pela lâmpada. Meça as tensões fase-neutro, em cada condensador.
- 4) Meça a corrente no condutor neutro.
  - a) Verifique que a corrente que alimenta a lâmpada e a corrente que alimenta o painel da montagem são idênticas.

***Deverá verificar valores próximos de 230VAC.***

***Deverá verificar que a lâmpada deverá absorver uma corrente de 0,29A, enquanto que a totalidade do painel deverá consumir 0,30A.***

- b) Verifique que os condensadores estão desligados e não recebem tensão.
- 5) Individualmente, ligue cada um dos condensadores.
- 6) Para cada situação, meça as correntes absorvidas pela lâmpada, pelo painel de alimentação e por cada condensador.
  - a) Verifique que alterações ocorrem na corrente que fornece a lâmpada e na corrente que fornece o painel da montagem.

***Deverá verificar que a corrente que alimenta a lâmpada mantém-se nos 0,29A, enquanto que a corrente que alimenta o painel de montagem deverá variar para cada condensador ligado.***

***Para o primeiro condensador, o painel deverá consumir 0,12A.***

***Para o segundo condensador, o painel deverá consumir 0,10A.***

***Para o terceiro condensador, o painel deverá consumir 0,29A.***

***Para o quarto condensador, o painel deverá consumir 0,9A.***

- 7) Meça as correntes que alimentam cada condensador que foi ligado.

***Para o primeiro condensador, 0,21A.***

***Para o segundo condensador, 0,24A.***

***Para o terceiro condensador, 0,56A.***

***Para o quarto condensador, 1,17A.***
- 8) Com recurso ao formulário apresentado, calcule, para cada situação, a potência aparente, ativa e reativa do circuito.
  - a) Considere que a potência de cada condensador é considerada potência reativa compensadora do fator de potência da montagem.

- b) Verifique que, com os primeiros dois condensadores, o fator de potência da instalação é melhorado e que diminui a corrente de alimentação do painel da montagem, logo, do sistema em análise.
- c) Verifique que, com os últimos dois condensadores, o fator de potência da instalação é piorado e que aumenta a corrente de alimentação do painel da montagem, logo, do sistema em análise. Verifique que nesta situação passamos a ter um fator de potência capacitivo.

***Note que o fator de potência original é de 0,34. O S original é 69W. O P original é de 23W. O fator de potência pode ser dado pelo quociente entre P e S.***

***Para o primeiro condensador, o fator de potência deverá ser 0,34.***

***Para o segundo condensador, o fator de potência deverá ser 1.***

***Para o terceiro condensador, o fator de potência deverá ser 0,35, capacitivo.***

***Para o quarto condensador, o fator de potência deverá ser 0,11, capacitivo.***

# Capítulo 4 - Particularidades dos sistemas trifásicos

## Introdução

O sistema trifásico é uma vertente de um sistema polifásico de geração, transmissão e distribuição de eletricidade em corrente alternada, sendo o formato mais comum de transmissão de potência na rede elétrica, bem como a alimentação de diversas cargas. [4]

Num sistema trifásico simétrico, três condutores de fase transmitem uma corrente alternada da mesma frequência e módulo de tensão, com uma referência comum, mas com uma diferença de fase de um terço do período. A referência comum pode conduzir também corrente, sendo denominada de neutro, obtido no ponto comum de um sistema de três enrolamentos de um transformador, dispostos em estrela. Num sistema trifásico que alimente uma carga equilibrada e linear, a corrente que se verifica no condutor neutro. [4]

Quando são alimentadas cargas monofásicas a partir de um sistema de distribuição de energia trifásico com neutro (como é o caso em Portugal), pode existir circulação de corrente no neutro. Esta situação verifica-se se cada carga monofásica consumir diferentes níveis de potência, e logo, correntes de fase diferentes, criando uma tensão de deslocamento de neutro. O condutor neutro conduz então a corrente resultante desse desequilíbrio. [4][5]

A presença de harmónicos na rede elétrica representa distúrbios no fluxo de eletricidade causados por cargas não lineares alimentadas pela dita rede elétrica. Uma carga não linear é aquela que, dado o formato da onda de tensão, sinusoidal, que lhe é fornecida, absorve corrente com uma forma de onda diferente desta onda de tensão. Dá-se assim a criação de correntes harmónicas, que ao circularem pelo sistema elétrico criam, por sua vez, tensões harmónicas, perturbadoras da fonte de tensão. [1][2]

Segundo o teorema de Fourier, todas as ondas não sinusoidais podem ser expressas segundo o somatório de termos constituídos pela onda sinusoidal à frequência fundamental do sistema, termos harmónicos sinusoidais com frequências múltiplas da fundamental e, quando aplicável, uma componente DC. Um termo harmónico de ordem  $h$  (ou o harmónico número  $h$ ) presente em determinada onda será, então, uma componente sinusoidal cuja frequência tem um valor  $h$  vezes da frequência fundamental. [1]



Muitos equipamentos eletrônicos necessitam para o seu funcionamento de uma onda de tensão modulada, modificando o valor eficaz da onda sinusoidal original ou efetuando conversões de corrente alternada para corrente contínua. Exemplos de equipamentos que, ao modularem a onda de tensão original, introduzem harmônicos na rede incluem computadores, impressoras, lâmpadas fluorescentes, variadores de frequência, máquinas de soldar, carregadores de baterias industriais, entre outros. [2][1]

A introdução de correntes harmônicos na rede causa vários problemas ao nível de uma instalação elétrica. Num sistema trifásico equilibrado com neutro, as ondas de tensão sinusoidais de cada fase estão desfasadas entre si de 120 graus, verificando-se corrente nula no condutor neutro. Se o sistema trifásico é desequilibrado, existe passagem de corrente no neutro. A presença de harmônicos na rede vai implicar uma sobrecarga deste condutor. Dada a componente da corrente correspondente ao harmónico de 3ª ordem, cujo período é um terço do período da onda fundamental, existe uma componente de corrente, alinhada em cada fase, que se soma à corrente que circula no neutro, causando a sua sobrecarga. O mesmo efeito também acontece para harmónicos de ordem par ou ímpar, múltipla de 3. [2]

Outras consequências da presença de harmónicos numa instalação prendem-se com o aumento de perdas no ferro e de Joule em transformadores. Enquanto que as perdas no ferro se devem a fenómenos de histerese, as perdas de joule devem-se em particular ao efeito de coroa verificado nos enrolamentos do transformador. [2]

O problema do efeito de coroa estende-se também às canalizações das instalações elétricas. Verificam-se também efeitos causados pela presença de harmónicos no que diz respeito à distorção harmónica de tensão. A onda de tensão distorcida, devido à presença de cargas não lineares, é fornecida a outros equipamentos da instalação que, mesmo sendo cargas lineares, passam a ter consumos de corrente segundo ondas de cargas não lineares. A distorção harmónica de tensão manifesta-se também em distúrbios na criação de binário em motores de indução. [2][1]

#### 4.1. Montagem demonstrativa do corte de neutro e desequilíbrio de cargas

Apresentam-se de seguida os esquemas seguidos na construção da montagem demonstrativa para do corte de neutro e desequilíbrio de cargas, conforme figuras 4.1 e 4.2. Todas as montagens devem ser verificadas antes da sua utilização.

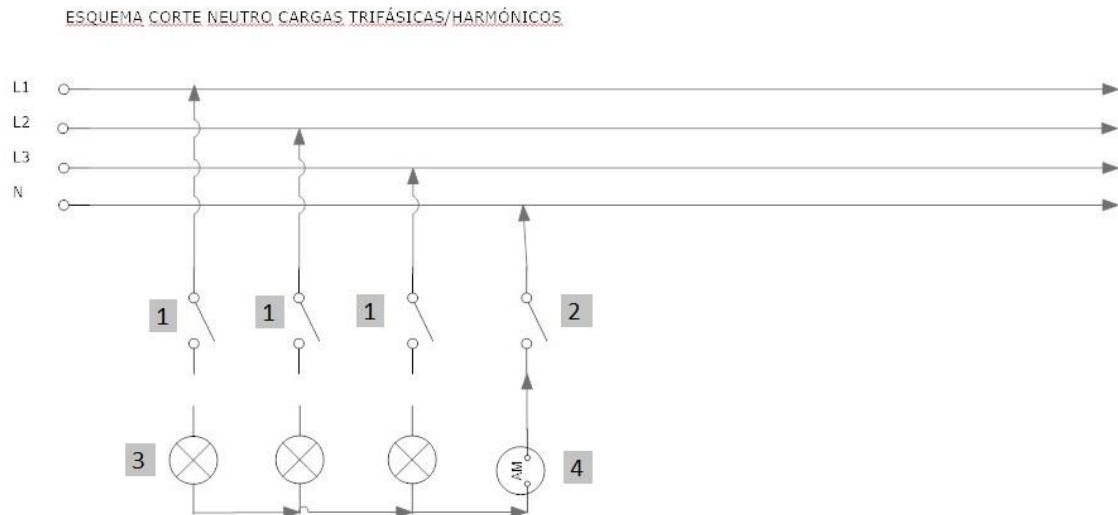


Figura 4.1 - Esquema da montagem efetuada para o corte de neutro e desequilíbrio de cargas.

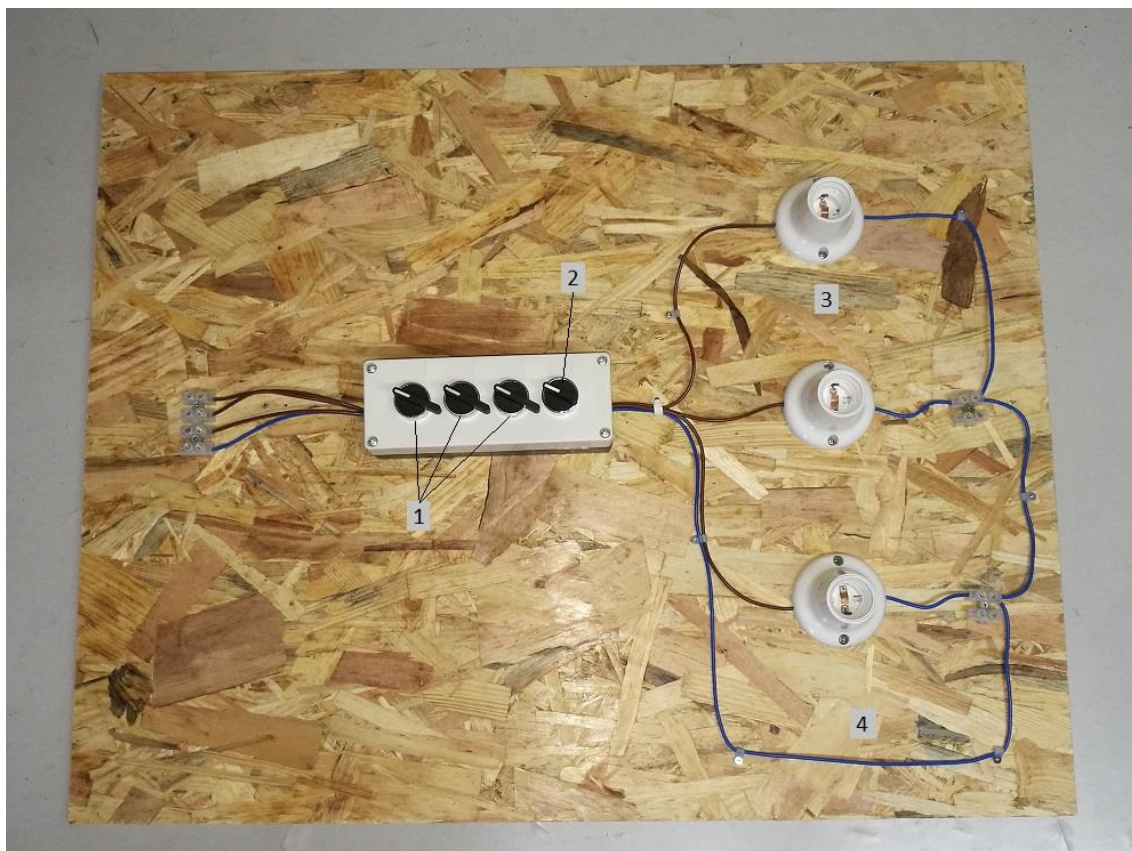


Figura 4.2 - Foto da montagem efetuada para o corte de neutro e desequilíbrio de cargas.

Apresentam-se de seguida os materiais utilizados na construção da montagem demonstrativa do corte de neutro e desequilíbrio de cargas num sistema trifásico:

Legenda	Quantidade	Material
1	3	Seletor 2posições 10A 250VAC, para corte de fase
2	1	Seletor 2posições 10A 250VAC, para corte de neutro
3	3	Suporte Lâmpada E27
3	3	Lâmpada LED E27 2U 6W 6000K
3	1	Lâmpada LED E27 3U 12W 6000K
3	1	Lâmpada LED E27 4U 19W 6000K
3	1	Lâmpada LED E27 4U 19W 6000K
4		Ponto de medição da corrente que circula no neutro
1, 2	1	Caixa de montagem dos seletores
	vários	metros Fio H05VV-F 1,5mm <sup>2</sup>
	diversos	Acessórios de construção da montagem, ligadores e acessórios de ligação do painel

**Tabela 4.1** — Legendagem das figuras 4.1 e 4.2, com respetiva listagem de materiais utilizados.

## 4.2. Guião de utilização da montagem - sugestão de utilização - corte de neutro e desequilíbrio de cargas

Apresenta-se de seguida uma sugestão para a metodologia a utilizar no uso da montagem demonstrativa para o corte de neutro e desequilíbrio de cargas, de modo a exemplificar os conceitos em análise.

O objetivo da utilização desta montagem é verificar as particularidades de um sistema trifásico com diversas configurações de cargas. Os estudantes deverão avaliar os efeitos em termos de corrente absorvida e tensão aplicada a diversas configurações de cargas, com cargas equilibradas e desequilibradas. Pretende-se também ilustrar os efeitos plausíveis em termos de efeitos de corrente no condutor neutro, com diversas configurações de cargas. Deve-se também ilustrar o que se verifica quando se procede ao corte do condutor neutro.

Guião de Utilização da montagem:

1. Alimente o painel da montagem com uma ficha trifásica.
  - a. Verifique que todos os seletores estão desligados.
2. Meça as tensões fase-neutro que alimentam o painel. Registe-as.
3. Instale as três lâmpadas de igual potência.
4. Ligue todos os seletores, incluindo o seletor do neutro.
5. Meça as correntes absorvidas por cada lâmpada.
6. Meça as tensões fase-neutro, em cada fase. Meça a corrente no condutor neutro.
  - a. Verifique que as tensões são idênticas às anteriormente registadas.
7. Substitua as lâmpadas, de modo a ter potências diferentes em cada fase.
8. Meça novamente as correntes absorvidas por cada lâmpada.
9. Meça as tensões fase-neutro, em cada fase. Meça a corrente no condutor neutro.
  - a. Verifique que as tensões em cada fase se alteraram e circula agora corrente no neutro.
10. De maneira semelhante à disposição anterior, teste várias combinações de lâmpadas.
11. Mantendo uma combinação de lâmpadas com potências diferentes, desligue o seletor correspondente ao condutor neutro.
12. Meça novamente as correntes absorvidas por cada lâmpada. Meça as tensões fase-neutro, em cada fase.
  - a. Verifique que houve alterações na luminosidade emitida pelas lâmpadas.
  - b. Verifique que as tensões diminuíram nas fases com lâmpadas mais potentes e aumentaram nas fases com lâmpadas menos potentes.
13. Meça a impedância de cada lâmpada. Calcule a potência absorvida em cada lâmpada.
14. Verifique as discrepâncias entre o valor marcado e o valor calculado.

### 4.3. Montagem demonstrativa da presença de harmónicos numa instalação elétrica

Apresentam-se de seguida os esquemas seguidos na construção da montagem demonstrativa para a presença de harmónicos numa instalação elétrica. Note-se que a montagem é a mesma utilizada para demonstrações ao nível do sistema trifásico. Todas as montagens devem ser verificadas antes da sua utilização.

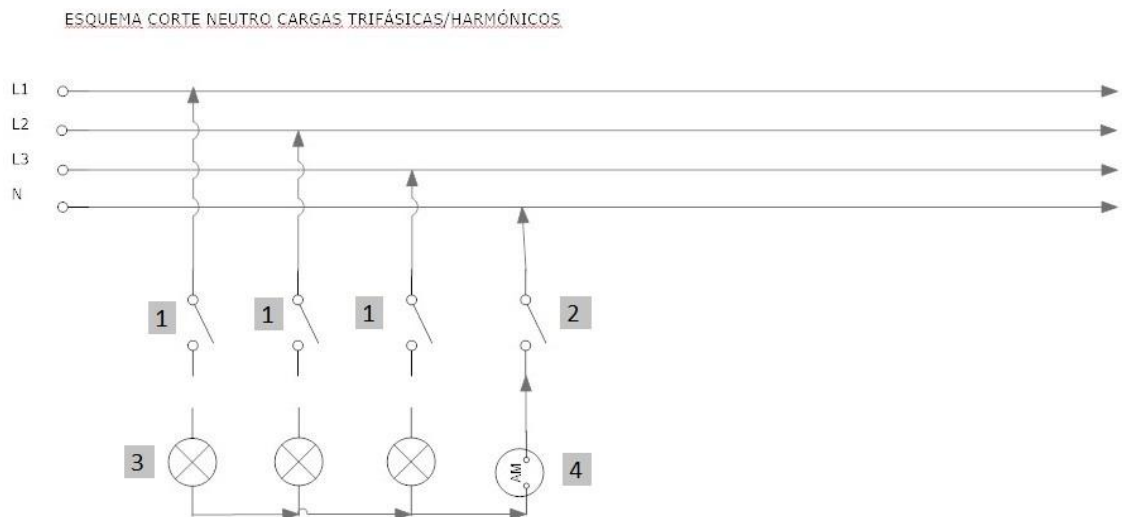


Figura 4.1 - Esquema da montagem efetuada para o corte de neutro e desequilíbrio de cargas.

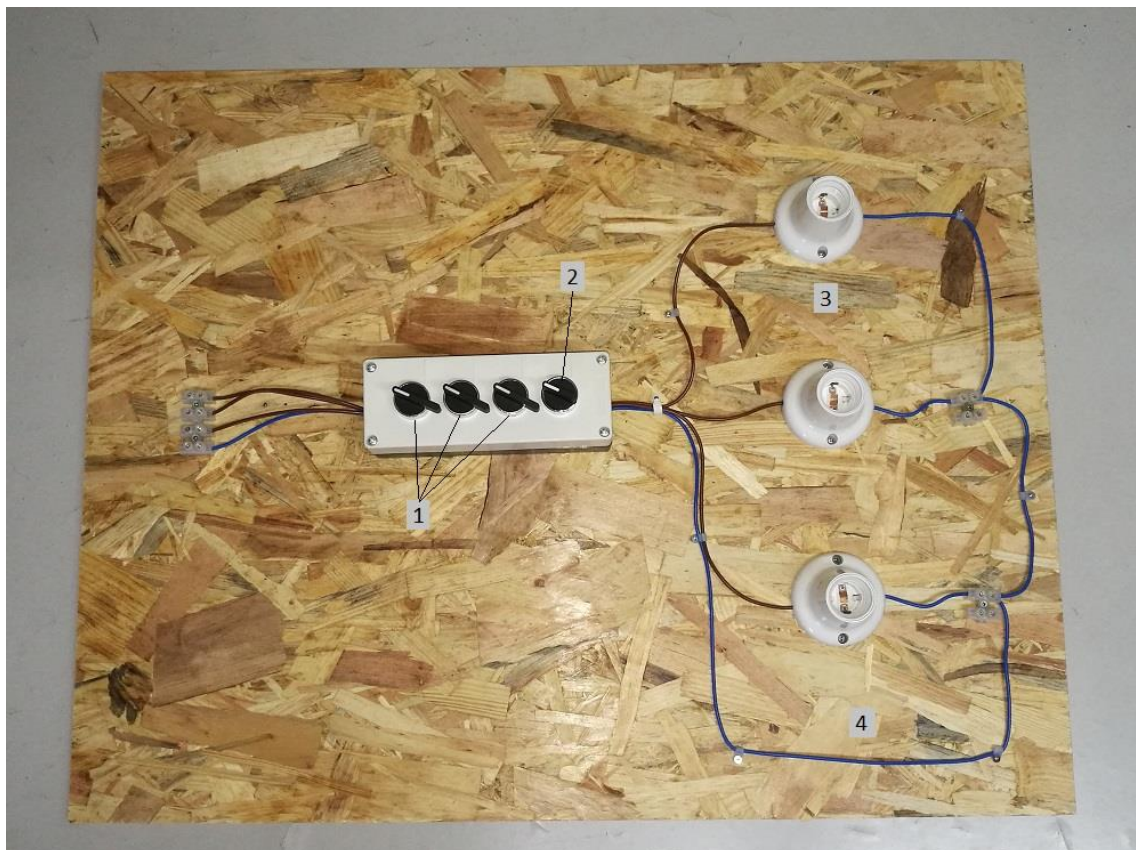


Figura 4.2 - Foto da montagem efetuada para o corte de neutro e desequilíbrio de cargas.

Apresentam-se de seguida os materiais utilizados na construção da montagem demonstrativa para a presença de harmónicos numa instalação elétrica, conforme figuras 4.1 e 4.2:

Legenda	Quantidade	Material
1	3	Seletor 2posições 10A 250VAC, para corte de fase
2	1	Seletor 2posições 10A 250VAC, para corte de neutro
3	3	Suporte Lâmpada E27
3	3	Lâmpada LED E27 2U 6W 6000K
3	1	Lâmpada LED E27 3U 12W 6000K
3	1	Lâmpada LED E27 4U 19W 6000K
3	1	Lâmpada LED E27 4U 19W 6000K
4		Ponto de medição da corrente que circula no neutro
1, 2	1	Caixa de montagem dos seletores
	vários	metros Fio H05VV-F 1,5mm <sup>2</sup>
	diversos	Acessórios de construção da montagem, ligadores e acessórios de ligação do painel

Tabela 3.1 – Legendação das figuras 4.1 e 4.2, com respectiva listagem de materiais utilizados.

#### 4.4. Guião de utilização da montagem - sugestão de utilização - presença de harmónicos numa instalação elétrica

Apresenta-se de seguida uma sugestão para a metodologia a utilizar no uso da montagem demonstrativa para o sistema trifásico, de modo a exemplificar os conceitos em análise.

O objetivo da utilização desta montagem é verificar as particularidades da presença de harmónicos numa instalação elétrica. Os estudantes deverão avaliar os efeitos em termos de correntes que circulam no condutor neutro com diversas configurações de cargas, com cargas equilibradas e desequilibradas. Pretende-se também ilustrar os efeitos plausíveis em termos de frequência da tensão no condutor neutro, devido à presença de harmónicos na instalação em teste. Deverá também ser verificada a onda de tensão que se verifica na montagem, e como ela varia em relação ao formato de onda sinusoidal regular.

Guião de Utilização da montagem:

1. Alimente o painel da montagem com uma ficha trifásica.
  - a. Verifique que todos os seletores estão desligados.
2. Meça as tensões fase-neutro que alimentam o painel. Registe-as.
3. Instale as três lâmpadas de igual potência.
4. Ligue todos os seletores, incluindo o seletor do neutro.
5. Meça as correntes absorvidas por cada lâmpada.
6. Meça as tensões fase-neutro, em cada fase.
7. Meça a corrente no condutor neutro.
8. Meça a frequência de tensão nas fases.
9. Recorra a equipamentos de medição (multímetros e pinças amperimétricas) que façam leituras *True RMS* (de verdadeiro valor eficaz), de maneira a representar com precisão as medições a efetuar.
  - a. Verifique que a corrente no neutro tem um valor diferente de zero, sugerindo a presença de distorção harmónica.
10. Meça a frequência de tensão no condutor neutro.
  - a. Verifique que a frequência assume um valor diferente daquele medido nas fases.
11. Com recurso a um osciloscópio, meça o formato da onda de corrente em cada fase a alimentar cada lâmpada.
  - a. Verifique que a onda de corrente não é sinusoidal.

# Capítulo 5

## Conclusão

O trabalho anteriormente apresentado neste documento consistiu na conceção, desenvolvimento e construção de montagens exemplificativas de determinados conceitos associados às instalações elétricas, lecionados em diversas unidades curriculares. Com efeito, foram construídos de raiz painéis de demonstração que pretenderam ilustrar, a um nível didático e experimental, conceitos das instalações elétricas de particular relevância.

Os temas desenvolvidos nesta dissertação, e que serviram de base para o processo de criação e construção das ferramentas apresentadas nesta tese, têm particular influência na operação e exploração de uma instalação elétrica, sendo assim importante o desenvolvimento de ferramentas onde atuais e futuros estudantes de áreas abordando as temática referidas, possam complementar a sua aprendizagem teórica, recorrendo a estes dispositivos, cuja conceção pretendeu que fossem de cariz prático e didático, sob orientação de um guião de utilização complementar a cada montagem.

Foram assim desenvolvidos aparelhos originais que constituem contribuições para os guiões de unidades curriculares que desenvolvam as temáticas relacionadas com as instalações elétricas. A sua utilização pretende servir de base à divulgação, à luz de um contexto laboratorial, não só dos conceitos à volta dos quais o *design* das ferramentas se centrou, mas também de outras questões deste ramo da engenharia que se revelem importantes num contexto de aprendizagem, e para as quais as montagens possam ser reutilizadas e readaptadas.

Assim, o conjunto das montagens mais os guiões de utilização desenvolvidos serve de base para a ilustração de temas de suma importância, como a proteção de pessoas ou a transmissão de energia em sistemas trifásicos, mas também como possível *template* para a criação futura de ferramentas didáticas de divulgação e exploração de conteúdos por parte de atuais e futuros interessados em instalações elétricas, atraídos pela vertente lúdica proporcionada pela utilização destas ferramentas.

Foi desta forma cumprido o desafio proposto inicialmente, tendo sido criadas e apresentadas montagens e respetivos guiões de utilização que ilustrem a aplicação real dos



conceitos identificados no contexto de uma unidade curricular de aplicações laboratoriais de instalações elétricas.

O desenvolvimento deste trabalho não teve como fim único a montagem das ferramentas descritas e escrita dos guiões de utilização sugeridos, mas também permitiu ao autor aprofundar a problemática que engloba o desenvolvimento de uma montagem elétrica original, desde o seu esquema, passando pela seleção de equipamentos até à sua instalação e teste. Esta aprendizagem, complementada com aquilo apresentado neste documento e as montagens que ficam disponíveis para utilização livre, cumpre o objetivo proposto e serve de base para aplicações futuras.

Com o *design* destas montagens, pretende-se corresponder a um desafio lançado pelos orientadores desta tese, no sentido de idealizar guiões laboratoriais que pudessem introduzir uma componente didática no ensino de temas fundamentais na utilização e exploração de instalações elétricas no contexto social e tecnológico atual.

# Referências

- [1] “Electrical Installation Guide”, Edition 2016, Schneider Electric, ISBN: 978.2.9531643.3.6.
- [2] “Electrical installation handbook - Protection, control and electrical devices”, Technical Guide 6th Edition 2010, ABB.
- [3] José Neves dos Santos, “Compensação do Factor de Potência”, Abril de 2006 (Revisto em Maio de 2010).
- [4] José Rui Ferreira, “Circuitos Polifásicos”, Slides da UC Sistemas Eléctricos de Energia
- [5] Manuel Vaz Guedes, “Laboratório de Máquinas Eléctricas”, 1994
- [6] “Compensation Capacitors For Lamp Circuits using Inductive Ballasts”, Vossloh-Schwabe.
- [7] “Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão”, DGEG, Certiel, ISBN: 978.972.8268.37.4.
- [8] Electrical Instalation Wiki. Disponível em [http://www.electrical-installation.org/enwiki/Main\\_Page](http://www.electrical-installation.org/enwiki/Main_Page). Último acesso 27/03/2017.